



La nature de l'expertise dans la résolution de problème de conception : le cas de la conception d'un emploi du temps universitaire

Clément Guerin, Jean-Michel Hoc

► To cite this version:

Clément Guerin, Jean-Michel Hoc. La nature de l'expertise dans la résolution de problème de conception : le cas de la conception d'un emploi du temps universitaire. 5ème conférence Epique, Sep 2009, Nice, France. pp.57-64. hal-00903277

HAL Id: hal-00903277

<https://hal.science/hal-00903277>

Submitted on 11 Nov 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

La nature de l'expertise dans la résolution de problème de conception : le cas de la conception d'un emploi du temps universitaire

Clément GUERIN

IRCCyN – Campus de l'Ecole Centrale de Nantes (Bureau 208).
1, rue de la Noë – BP 92101 – F44321 Nantes Cedex 03
Clement.Guerin@irccyn.ec-nantes.fr

Jean-Michel HOC

IRCCyN – Campus de l'Ecole Centrale de Nantes (Bureau 210).
1, rue de la Noë – BP 92101 – F44321 Nantes Cedex 03
Jean-Michel.Hoc@irccyn.ec-nantes.fr

Catégorie de soumission : communication longue

RÉSUMÉ

Cette recherche est une contribution méthodologique et théorique à l'étude des activités de planification. Parmi ces activités, l'ordonnancement est un domaine d'application pertinent. Cependant, peu d'études ont été consacrées à la description des stratégies d'ordonnancement, et encore moins sur la nature de l'expertise. C'est pourquoi, nous avons proposé une tâche d'ordonnancement à trois experts et trois novices : concevoir un emploi du temps (ET) universitaire. D'une manière générale, on pense que l'activité de conception est organisée autour de deux espaces duaux : celui des contraintes (non visibles sur l'ET) et celui des objets (visibles sur l'ET). À partir du protocole verbal et comportemental des participants, nous avons observé que les experts ont tendance à privilégier les représentations externes (objets sur l'ET) pour soutenir leur activité. Le débutant donne l'impression d'avoir des difficultés à passer à l'action contrairement à l'expert qui n'hésite pas à se compromettre plus rapidement, et à construire l'ET en explicitant de nombreux plans d'actions.

MOTS-CLÉS

Planification, ordonnancement, analyse de protocole individuel, gestion de contraintes, emploi du temps.

1 INTRODUCTION

Les travaux de psychologie ergonomique sur les activités de conception ont couvert assez largement la planification (ex. : analyse et programmation informatique), la conception d'artéfacts divers (ex. : machines) ou la conception architecturale. Encore très peu de travaux se sont penchés sur l'activité d'ordonnancement, par exemple dans la planification des tâches, de l'occupation des personnels et des machines dans des ateliers. Bien qu'il s'agisse d'une question cruciale pour la survie d'une entreprise (un mauvais ordonnancement peut considérablement réduire la compétitivité par un accroissement des coûts de fabrication), peu de personnes sont concernées par cette tâche et les enjeux ergonomiques sont mal perçus. En revanche, la recherche opérationnelle a toujours été très active sur ces questions, en se posant plus comme une pourvoyeuse d'outils logiciels pour automatiser l'ordonnancement que comme une conceptrice d'assistance à l'activité. Paradoxalement, ce sont toujours principalement des opérateurs humains qui réalisent ces tâches d'ordonnancement.

L'ordonnancement se caractérise notamment par la grande complexité des problèmes qu'il pose : il s'agit de problèmes NP-complets, conduisant rapidement à l'explosion combinatoire. Que l'on pense par exemple à un chantier de construction navale ou aéronautique qui doit réaliser plusieurs milliers d'opérations par semaine, avec des contraintes humaines, techniques et temporelles très fortes. Depuis longtemps, on sait que l'ordonnanceur humain s'appuie sur des heuristiques, acquises par une expérience prolongée (Hoc, Mebarki, & Cegarra, 2004 ; Sanderson, 1989, 1991). Or, on sait encore peu de choses sur la nature de cette expertise, sinon sa grande variabilité interindividuelle (Cegarra,

2004). C'est pourquoi, nous nous sommes d'abord intéressés à une activité d'ordonnancement somme toute assez répandue – la conception d'emploi du temps (ET) – afin de mieux identifier la nature de l'expertise en ordonnancement.

Après avoir analysé le travail d'un ordonnanceur expert en situation de conception d'ET, il apparaît qu'une approche sous l'angle de la gestion de contraintes est une voie prometteuse pour la formalisation de la planification et de l'ordonnancement dans les activités de conception, en général, et de conception d'ET, en particulier (Guerin, 2007). En effet, il est apparu que le concepteur travaille dans deux espaces problèmes duaux, un espace de contraintes (non visibles sur l'ET) et un espace d'objets (visibles sur l'ET), et que certaines opérations cognitives permettent de basculer d'un espace à l'autre. L'objectif de cette étude est d'examiner ce qui différencie un expert d'un novice dans cette activité.

2 CADRE THEORIQUE

2.1 Trois catégories de problèmes

Hoc (1987) nous propose une typologie des problèmes. Dans les **problèmes de transformation d'état**, le sujet se représente le problème à la manière d'un cheminement à trouver dans un espace d'états, des règles de transformation permettant de passer d'un état à un autre. Pour la tour de Hanoï, par exemple, on représente cet espace d'états par des triangles équilatéraux emboîtés les uns dans les autres. Dans les **problèmes de diagnostic**, le sujet se représente le problème comme la construction d'une représentation adéquate de la situation pour trouver une solution, en cherchant des relations dans un ensemble d'éléments. Pour diagnostiquer son patient, le médecin tente de dégager la structure d'un syndrome à partir de l'ensemble des symptômes. Enfin dans les **problèmes de conception**, « *le sujet se représente la tâche comme la construction d'une représentation détaillée du but* » (p.64). Grâce à l'introduction successive d'un certain nombre de contraintes, la représentation qui au départ est floue devient complètement spécifiée (une fois que le problème est résolu).

De plus, Visser (2006, 2009) considère les problèmes de conception comme des problèmes mal définis (ou mal structurés selon la terminologie de Simon, 1973), car notamment, la spécification des buts est incomplète voire ambiguë. Cet auteur les oppose aux problèmes bien définis (par ex., le problème de la tour d'Hanoï) dans lesquels la consigne indique clairement le but à atteindre et les règles que le sujet doit respecter.

2.2 La conception d'emploi du temps comme cas particulier d'ordonnancement

Nous allons présenter un travail réalisé dans le domaine de la conception d'emploi du temps (ET). Ce n'est pas cette activité particulière qui nous intéresse essentiellement. Nous chercherons à généraliser certains de nos résultats à des classes superordonnées d'activités, en considérant que la conception d'ET est un cas particulier de conception d'un ordonnancement, elle-même considérée comme une activité de planification, cas particulier, au final, d'une activité de conception.

Concevoir un ET, c'est associer des ressources (enseignants, matières, salles) à des tâches (étudiants), en tenant compte de contraintes, notamment temporelles. Il s'agit bien d'un cas particulier de l'activité d'ordonnancement qui consiste « *à organiser dans le temps la réalisation de tâches, compte tenu de contraintes temporelles et de contraintes portant sur l'utilisation et la disponibilité des ressources requises* » (Esquirol et Lopez, 1999, p.13). Dans le cas de l'ordonnancement manufacturier par exemple, l'ordonnanceur affecte des machines (ressources) à des commandes (tâches) pendant une période. La présente étude vise à apporter des connaissances plus générales sur l'activité d'ordonnancement. Concevoir un ordonnancement relève d'une activité de planification qui peut produire d'autres artefacts, par exemple un programme informatique, le sommaire d'un livre, etc. La notion centrale d'affectation de ressources à des tâches perd alors de son relief. Mais il va rester d'autres caractéristiques dont l'usage de hiérarchies d'abstraction (mise en œuvre ou raffinement) ou le caractère différé de l'exécution ou de la réalisation. Enfin, concevoir un plan relève de l'activité de conception en général. À ce niveau, l'accent est mis par exemple sur la multiplicité des systèmes de représentation et de traitement (SRT) dans lesquels s'expriment des contraintes variées (Hoc, 1987). Un SRT est privilégié : celui dans lequel doit s'exprimer la solution qui doit satisfaire des contraintes articulées entre elles. La conception d'ET est une situation adaptée pour observer ce mécanisme

d'articulation car le concepteur doit intégrer différents systèmes de contraintes (sur les salles, enseignants, étudiants etc.), et exprimer une solution dans un SRT unique : un emploi du temps. Bien d'autres caractéristiques de ces classes et sous-classes ont été décrites dans la littérature. Dans le texte qui suit, nous adopterons cette terminologie pour exprimer le niveau de généralité auquel nous nous plaçons pour interpréter les résultats.

Enfin, Visser (2009) note que l'activité de conception ne conduit pas à une solution correcte unique mais que plusieurs solutions satisfaisantes sont envisageables, le concepteur recherchant un compromis acceptable. Cette multiplicité des solutions, qui a notamment été observée chez des concepteurs spécialisés dans l'aménagement des dispositifs de signalisation à implanter sur un carrefour (Bisseret, Figeac-Letang, & Falzon, 1988) est aussi proposée en recherche opérationnelle. Ce domaine considère qu'il existe deux grandes stratégies de résolution d'un problème d'ordonnancement : soit on cherche à optimiser un ou plusieurs critères ce qui peut conduire la machine à proposer plusieurs solutions, soit on respecte toutes les contraintes du problème et plusieurs solutions sont admissibles (Esquirol et Lopez, 1999).

2.3 Gestion de contraintes et opérations sur les objets dans la conception d'un ET

Comme le notent Chevalier et Cegarra (2008), la notion de contraintes est au centre de nombreux travaux s'intéressant aux activités de résolution de problème de conception aussi bien en psychologie ergonomique qu'en intelligence artificielle (IA). Pour cette étude, nous nous sommes inspirés d'un modèle proposé par Stefik (1981a) en IA pour planifier des expériences de clonage de gènes en génétique moléculaire. Cet auteur définit une contrainte (au sens large) comme **une relation entre variables, ce qui permet de décrire partiellement un objet**. Il propose trois opérations sur les contraintes : la **formulation**, la **propagation** et la **satisfaction**. Depuis, ce modèle a été enrichi (Darses, 1991a), et utilisé notamment pour rendre compte de la conception de réseaux informatiques (Darses, 1994). Dans cette activité, les données initiales du problème sont définies par un ensemble de contraintes (topologiques, fonctionnelles, budgétaires, etc.) qui doivent être spécifiées au cours du processus de conception pour aboutir à une solution : le réseau informatique. L'auteur note qu'il existe plusieurs taxonomies de contraintes selon que l'on considère leur niveau d'abstraction (traits fonctionnels, ou structurels des contraintes), leur importance (contraintes de validité ou de préférence) ou bien leur origine (prescrite, introduite, déduite).

En complément à Stefik, nous opposons la notion de contrainte au sens strict à la notion d'objet : **une contrainte au sens strict est une relation entre variables qui n'est pas représentée sur le SRT externe qui exprime la solution, alors qu'un objet est une relation entre variables qui peut y être représentée**. Appliquée à la conception d'un ET, cette distinction considère qu'une contrainte au sens strict n'est pas représentée sur l'ET alors que l'objet peut y être représenté. Par exemple, dire que *M. Dupont est absent le mercredi* est l'expression d'une contrainte au sens large, mettant en relation la variable *enseignant* avec la variable *période*. Puisqu'il est difficile de représenter cette relation particulière sur l'ET, on la définit comme une contrainte au sens strict. En revanche, si l'on considère la relation ternaire entre les variables *groupe d'étudiant*, *période* et *enseignant*, que l'on particularise respectivement par les valeurs *groupe 2*, *mardi 8h-9h15*, *Mr Dupont*, il devient possible de la représenter sur l'emploi du temps, et dans ce cas on parle d'objet. Dans la suite du texte, nous utiliserons le terme de contrainte, non pas au sens large de Stefik, mais au sens strict.

L'espace des objets est donc un espace de résolution dans lequel le travail du concepteur est rendu visible, contrairement à celui des contraintes. Pour décrire l'activité de conception d'ET, nous avons construit un schème de codage (partie 3.2) en s'appuyant principalement sur les travaux de Stefik et sur ceux de Darses mais aussi en introduisant des éléments nouveaux pour ce cas particulier (notamment les opérations sur les objets). On peut alors considérer qu'une des particularités de ce travail consiste à dire que le schème de codage fait partie des résultats, dans la mesure où il est le « reflet » à la fois de connaissances préalables et de l'observation de participants.

3 METHODE

3.1 Tâche du participant et méthode de recueil des données

Dans cette étude, la tâche du participant était de concevoir sur Excel un ET d'une semaine pour 3 groupes d'étudiants. Il devait planifier différents types de modules (cours magistraux, travaux dirigés, etc.) en tenant compte d'un ensemble de contraintes (de disponibilité, temporelle). Nous avons utilisé une consigne de verbalisation simultanée à l'exécution de la tâche, de type « *penser tout haut* » (traduction littérale de l'expression de Duncker (1958) : « *thinking aloud* »). Bien que notre usage de cette consigne soit tout à fait cohérent avec son initiateur, nous avons trouvé, après Hoc et Leplat (1983) que cette expression était trop exigeante en matière de contenus verbalisés. C'est pourquoi, nous avons demandé aux participants de l'expérience de « *dire à haute voix ce qui leur passait par la tête en exécutant la tâche* », même si cela pouvait paraître décousu ; l'essentiel étant d'exécuter la tâche ». Ce type de consigne est conforme à ce que souhaitait Duncker, c'est-à-dire lever la censure, et Ericsson et Simon (1984), autant que Hoc et Leplat, c'est-à-dire « vider » la mémoire à court terme, avec le moins possible de traitement. Enfin, pour accéder à un contenu moins conscient pour le participant, nous avons également enregistré l'ensemble des actions visibles sur l'ET pendant sa conception (opérations sur les objets).

Taatgen (1999) a également utilisé une consigne de verbalisation simultanée pour analyser les processus d'apprentissage en ordonnancement. La tâche proposée était de résoudre plusieurs problèmes d'ordonnancement avec contraintes de précédence (par ex, la tâche A doit être faite avant la tâche B). L'auteur a observé chez les participants un effet d'apprentissage lié à l'expérience d'ordonnancement : ils découvrent et raffinent de nouvelles stratégies de résolution au fur et à mesure durant l'expérimentation.

3.2 Codage des protocoles

Le logiciel **MacSHAPA** (Sanderson et al, 1994) a permis de mettre en œuvre deux formalismes de codage des protocoles des participants novices ou experts. Les **objets** (représentés sur l'ET) ont été codés par un **formalisme vectoriel**. Un emploi du temps est défini par un ensemble d'objets vectoriels qui sont des quintuplets de valeurs prises parmi les cinq variables manipulées par le concepteur : le groupe d'étudiants, la salle, l'enseignant, le module et la période. Sa tâche est donc d'affecter, pour une période, un groupe d'étudiants, dans une salle, avec un enseignant responsable d'un certain module d'enseignement. Cependant, au cours du processus de conception, la spécification des objets n'est pas toujours complète. Nous distinguons donc les objets entièrement spécifiés (**objets concrets**) de ceux qui le sont partiellement (**objets abstraits**), mais néanmoins représentés dans l'ET. Les **verbalisations** des participants ont été codées par un **formalisme prédicat-arguments**. Ici, le prédicat code une activité cognitive et les arguments les spécifications de ces activités (pour plus de détails, voir Hoc & Amalberti, 1999).

3.3 Le schème de codage

Le schème de codage permet de coder un ensemble d'opérations qui caractérisent chacun des espaces et leur articulation (opérations sur les contraintes, opérations sur les objets – voir Fig.1), mais aussi d'autres opérations comme la formulation de plans d'action, la formulation d'heuristique, la détection et correction d'erreur, la détection de conflits entre contraintes.

- **Formulation de contrainte** : introduire une nouvelle contrainte par la mise en relation de variables (Stefik 1981a, Meseguer 1989, cités par Darses 1994). La contrainte apparaît donc pour la première fois dans le processus, sans être généré par une propagation. On distingue trois origines des contraintes formulées : contraintes prescrites par le cahier des charges (« *Il y a un TD de maths à placer* »), contraintes introduites par le concepteur (« *Je préfère mettre les DS le matin* »), ou contraintes déduites par l'analyse des objets de l'ET (« *Donc j'ai placé le groupe 1, le groupe 2 mais j'ai pas encore fait le groupe 3* »). C'est pourquoi la figure 1 présente la formulation de contraintes à deux niveaux différents.
- **Précision de contrainte** : ajouter une information nouvelle quant à une contrainte formulée précédemment (« *Pour les TP d'informatique, ils doivent être consécutifs* »).

- **Propagation de contraintes** : créer une nouvelle contrainte dépendante de l'expression de contraintes antérieures (Stefik 1981a, Meseguer 1989, cités par Darses 1994). C'est une combinaison de contraintes, déduite de contraintes antérieures. Par exemple, « *Donc ben je vais commencer par l'Anglais et pour plus de facilité, je ferai l'Anglais sur la même matinée* ». Une contrainte est créée par propagation, suite à la formulation de deux contraintes (« *Donc ben je vais commencer par l'Anglais* » et « *je ferai l'Anglais sur la même matinée* »). Cette nouvelle contrainte intègre les valeurs des variables impliquées dans les formulations de contrainte.

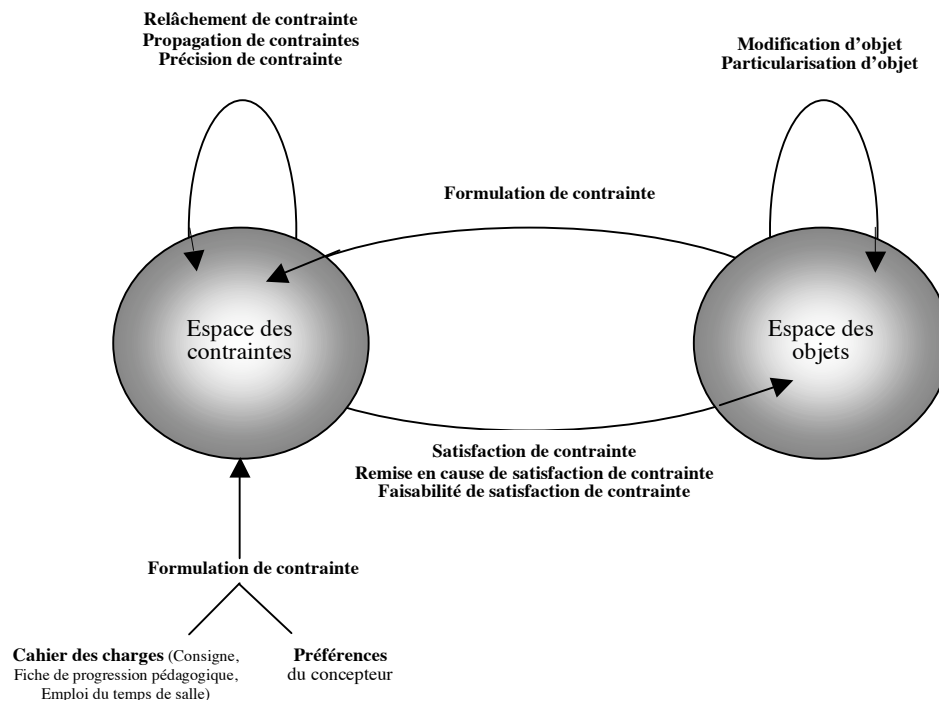


Fig.1 : Espaces duaux et leur articulation

- **Relâchement de contrainte** : remettre en cause une contrainte et ne plus la considérer dans le processus de conception (Chevalier et Cegarra, 2008). Par exemple, « *Finalement, je ne leur mettrai pas le DS un matin* » est l'expression d'un relâchement de contrainte formulée antérieurement.
- **Satisfaction de contrainte** : associer à des variables des valeurs acceptables pour former une combinaison valide dans le processus de conception (Stefik 1981a, Meseguer 1989, cités par Darses 1994). Le concepteur bascule de l'espace des contraintes vers l'espace des objets pour trouver un objet (abstrait ou concret) qui satisfait la contrainte. Les verbalisations de satisfaction de contrainte ne sont pas systématiques, et parfois elles accompagnent l'action (le concepteur verbalise ce qu'il saisit sur l'écran d'ordinateur). Il y a satisfaction, dès lors qu'un objet (abstrait ou concret) apparaît sur l'emploi du temps, suite à la formulation d'une contrainte.
- **Remise en cause de satisfaction de contrainte** : remettre en cause une opération de satisfaction. On pense qu'il y a remise en cause dans des situations où le concepteur a modifié l'espace des contraintes. Il s'agit donc d'une métaopération qui porte sur l'opération de satisfaction de contrainte, et qui joue un rôle dans la modification de l'espace des objets. Par exemple, « *Du coup, le TD de Français que j'avais placé là, je vais le mettre ailleurs* ».
- **Faisabilité de satisfaction de contrainte** : s'interroger sur l'existence ou non d'un objet (abstrait ou concret) disponible pour une satisfaction de contrainte. L'activité de faisabilité s'arrête dès que le test est terminé, c'est-à-dire dès que le concepteur a répondu à la question (par une verbalisation ou par une action allant dans ce sens). Par exemple, « *Est-ce que le mercredi matin, ça va être possible pour le groupe 3 ?* » est une formulation de faisabilité.

- **Modification d'objet** : modifier une ou des valeurs de variables (par ex, la salle) qui composent un objet concret ou abstrait, sans verbaliser de contrainte justifiant cette modification.
- **Particularisation d'objet** : ajouter une valeur de variable sur l'ET pour qu'un objet devienne moins abstrait. Par exemple, le concepteur renseigne la valeur de la variable *salle* pour un objet dont le *groupe*, la *période* et le *module* étaient déjà renseignés. Cette particularisation est faite sans qu'il n'exprime de travail dans l'espace des contraintes.

4 PRINCIPAUX RESULTATS

4.1 Structure des protocoles chez les deux groupes de participants

| | Novices | | Experts | | Effet observé | Effet sur la population | Test de Student |
|--------------------------------|---------|------------|---------|------------|-----------------------|---|--------------------------------|
| | Moyenne | Ecart-type | Moyenne | Ecart-type | | | |
| Opérations sur les contraintes | 88.01 | 1.73 | 65.69 | 4.57 | 22.32 notable | $P(\delta > 18.01) = .90$ notable | $t(4) = 7.92 \quad p < .001$ |
| Opérations sur les objets | 4.72 | 0.46 | 15.32 | 5.36 | -10.60 notable | $P(\delta < -5.82) = .90$ notable | $t(4) = -3.40 \quad p < .02$ |
| Plans d'action | 4.91 | 1.66 | 15.76 | 1.05 | -10.85 notable | $P(\delta < -9.12) = .90$ notable | $t(4) = -9.54 \quad p < .0007$ |
| Autres | 2.36 | 0.85 | 3.22 | 0.59 | | | |

Tab.1 : Proportion des opérations chez les experts et les novices

Les novices font en moyenne significativement plus d'opérations sur les contraintes que les experts (Tab.1). On considère cette différence observée comme un effet notable, avec un accroissement de près de 34%. L'inférence fiduciaire nous permet de généraliser à la population un effet important à $p = .90$ (Lecoutre & Poitevineau, 2005). La tendance est inversée pour les opérations sur les objets puisque les experts en font en moyenne significativement plus que les novices. Les proportions de plans d'action montrent qu'en moyenne, les experts en présentent significativement plus que les novices.

| | Novices | | Experts | | Effet observé | Effet sur la population | Test de Student |
|------------------|---------|------------|---------|------------|-----------------------|--|-------------------------------|
| | Moyenne | Ecart-type | Moyenne | Ecart-type | | | |
| Objets Abstraits | 24.29 | 16.06 | 81.17 | 10.75 | -56.88 notable | $P(\delta < -39.76) = .90$ notable | $t(4) = -5.09 \quad p < .007$ |

Tab.2 : Proportion des objets abstraits chez les experts et les novices

L'opération de satisfaction de contrainte (Fig.1) peut-être mise en œuvre dans deux cas : soit une satisfaction de contrainte par un objet concret (les 5 variables sont entièrement spécifiées par le concepteur) soit par un objet abstrait (seules quelques variables sont renseignées). Le tableau 2 montre que l'expertise semble être caractérisée par une très forte proportion de satisfaction de contrainte par des objets abstraits alors que c'est l'inverse chez les novices. Cette différence significative est notable.

4.2 Structure relationnelle inter-espaces chez les deux groupes de participants

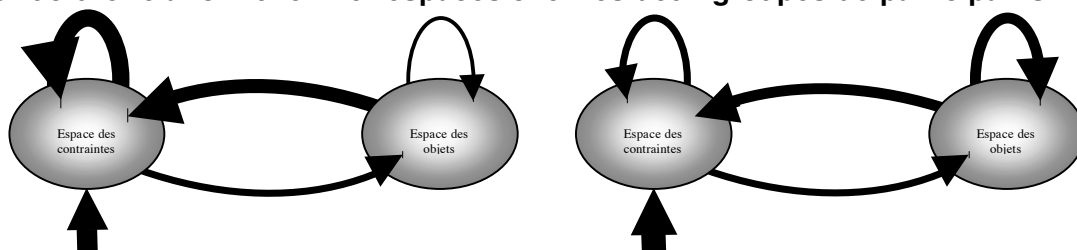


Fig.2 : Structure relationnelle inter-espaces chez les novices (à gauche) et les experts (à droite). L'épaisseur des flèches est fonction de la proportion des opérations correspondantes

La structure relationnelle des protocoles des participants (Fig.2) montre que les novices travaillent plus dans l'espace des contraintes que les experts. La différence observée est significative ($t(4) = 4.02$;

$p < .01$) et notable à .90. À l'opposé, il apparaît que les experts mettent en œuvre beaucoup plus d'opérations dans l'espace des objets comparativement aux novices. La différence est encore significative ($t(4) = 3.68$; $p < .02$) avec un effet important à $p = .90$.

4.3 Evaluation de la performance

L'évaluation de la performance des participants que nous avons mise en œuvre, à partir de critères tels que le confort des étudiants (par ex., éviter les trous dans l'emploi du temps), ou le confort des enseignants (par ex., condenser leurs enseignements dans la semaine), nous a permis d'observer en moyenne une différence notable entre les ET des experts et ceux des novices. Malheureusement, nous n'avons pas pu généraliser ces résultats à la population. Ceci s'explique probablement par la variabilité inter-individuelle observée en termes de performance, mais aussi en raison d'un échantillon de petite taille.

5 DISCUSSION

Par le biais de verbalisations simultanées et des actions visibles sur l'emploi du temps, ce travail de recherche sur les mécanismes cognitifs à l'œuvre dans la conception d'ET nous a permis de pister les processus cognitifs d'experts et de novices dans des espaces duaux. Cette étude nous a permis d'observer trois résultats majeurs. Tout d'abord, les novices font plus d'opérations sur les contraintes que les experts, qui eux-mêmes font plus d'opérations sur les objets que les novices. De plus, le détail des opérations de satisfaction de contraintes nous permet aussi de distinguer les deux groupes puisque les experts satisfont plutôt les contraintes par des objets abstraits (partiellement spécifiés), alors que c'est l'inverse c'est les novices. Enfin, la structure relationnelle inter-espace nous a permis d'observer que l'espace des contraintes était privilégié par les novices alors que les experts travaillent plus dans l'espace des objets.

Même si des différences inter-individuelles à l'intérieur des groupes ont été observées, il apparaît clairement que les experts travaillent plus dans l'espace des objets, contrairement aux novices qui travaillent plus dans l'espace des contraintes. Les experts auraient tendance à utiliser les représentations externes pour guider leur activité. Il pourrait alors déporter leur cognition sur l'emploi du temps, notamment quand les contraintes peuvent être satisfaites partiellement. C'est pourquoi on observe qu'ils satisfont souvent des contraintes par des objets abstraits. D'un certain point de vue, ce « passage à l'acte » sur l'ET est le reflet d'une compromission plus rapide, mais d'un autre point de vue, comme il s'agit d'objets abstraits à spécifier ultérieurement, ceci reste compatible avec une stratégie de moindre compromission. Ceci confirme un résultat proposé par Hoc et Amalberti (2007) selon lequel il existerait chez les experts un phénomène de transfert du contrôle cognitif sur l'information externe. De plus, leurs protocoles ont révélé qu'ils formulaient plus de plans d'action au cours de leur activité, ce qui caractérise généralement un haut niveau d'expertise (métacognition plus riche).

6 CONCLUSION

Comprendre l'expertise en ordonnancement devrait permettre d'apporter des recommandations aux concepteurs aussi bien sur des outils d'assistance (interfaces écologiques) que sur les programmes de formation. Ainsi, les résultats obtenus dans cette étude en termes de modèles de modèle cognitif chez les experts, pourrait orienter la conception d'aides ergonomiques à l'activité en considérant la problématique de la visibilité des contraintes. Il serait intéressant de concevoir des systèmes capables de gérer les contraintes permettant au concepteur de déporter une partie de sa cognition, notamment pour les contraintes qui ont déjà été satisfaites par des objets partiellement définis.

Il restera à comprendre pourquoi les novices diffèrent leur « passage à l'acte » en attendant d'avoir des objets entièrement spécifiés. Le traitement des contraintes, bien qu'il soit soutenu par les documents initiaux, reste coûteux tant qu'il ne se traduit pas par des résultats intermédiaires sur l'ET. Une hypothèse pourrait être que les novices craignent de devoir remettre en question ces résultats intermédiaires et de pas pouvoir gérer la situation. Une chose est d'identifier des différences dues à l'expertise, une autre (et ce sera l'étape suivante de cette recherche) est d'expliquer ces différences, grâce à des programmes expérimentaux appropriés.

7 REMERCIEMENTS

Nous remercions Nasser Mebarki pour ses conseils et son aide tout au long de la réalisation de cette expérience.

8 BIBLIOGRAPHIE

- Bisseret, A., Figeac-Letang, C., & Falzon, P. (1988). Modélisation de raisonnements opportunistes : l'activité des spécialistes de régulation des carrefours à feux. *Psychologie Française*, 33, 161-169.
- Cegarra, J. (2004). *La gestion de la complexité dans la planification : le cas de l'ordonnancement*. Thèse, Université Paris 8, Paris, France.
- Chevalier, A., & Cegarra, J. (2008). Une approche psychologique de la notion de contrainte en résolution de problèmes. *Le Travail Humain*, 71, 173-198.
- Darses, F. (1991a). An assessment of the constraint satisfaction approach for design: a psychological investigation. *Acta Psychologica*, 78, 307-325.
- Darses, F. (1994). *Gestion de contraintes dans la résolution de problèmes de conception*. Thèse, Université de Paris 8, Paris.
- Duncker, K. (1958). On problem-solving. *Psychological Monographs*, 5, n°270.
- Ericsson, K.A., & Simon, H.A. (1984). *Protocol analysis: verbal reports as data*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Esquirol, P., & Lopez, P. (1999). *L'ordonnancement*. Paris : Economica.
- Guerin, C. (2007). *Pertinence d'un modèle de gestion de contraintes dans la résolution d'un problème de conception : le cas de la conception d'un emploi du temps*. Mémoire de Master 1, Université de Nantes.
- Hoc, J.M. (1987). *Psychologie cognitive de la planification*. Grenoble, France : PUG.
- Hoc, J.M., & Amalberti, R. (1999). Analyse des activités cognitives en situation dynamique : d'un cadre théorique à une méthode. *Le Travail Humain*, 62, 97-129.
- Hoc, J.M., & Amalberti, R. (2007). Cognitive control dynamics for reaching a satisficing performance in complex dynamic situations. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 1, 22-55.
- Hoc, J.M., & Leplat, J. (1983). Evaluation of different modalities of verbalization in a sorting task. *International Journal of Man-Machine Studies*, 18, 293-306.
- Hoc, J.M., Mebarki, N., & Cegarra, J. (2004). L'assistance à l'opérateur humain pour l'ordonnancement dans les ateliers manufacturiers. *Le Travail Humain*, 67, 181-208.
- Lecoutre, B., & Poitevineau, J. (2005). Le logiciel « LePAC ». *La Revue de Modulad*, 33 (volume complet). Retrieved [05.01.09] from : <http://www.univ-rouen.fr/LMRS/Persopage/Lecoutre/PAC.htm>
- Sanderson, P.M. (1989). The human planning and scheduling role in advanced manufacturing systems: An emerging human factors domain. *Human Factors*, 31(6), 635-666.
- Sanderson, P.M. (1991). Towards the model human scheduler. *International Journal of Human Factors in Manufacturing*, 1(3), 195-219.
- Sanderson, P., Scott, J., Johnson, T., Mainzer, J., Watanabe, L., & James, J. (1994). MacSHAPA and the enterprise of exploratory sequential data analysis (ESDA). *International Journal of Human-Computer Studies*, 41, 633-681.
- Simon, H.A. (1973). The structure of Ill Structured Problems. *Artificial Intelligence*, 4, 181-201.
- Stefik, M. (1981). Planning with constraints (MOLGEN : Part1). *Artificial Intelligence*, 16, 111-140.
- Taatgen, N.A. (1999). *Learning without Limits: From Problem Solving towards a Unified Theory of Learning*. PhD Thesis, University of Groningen, The Netherlands.
- Visser, W. (2006) *The cognitive artifacts of designing*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Visser, W. (2009). La conception : de la résolution de problèmes à la construction de représentations. *Le Travail Humain*, 72(1), 61-78.